

明細書

発明の名称

圧電／電歪素子、圧電／電歪デバイスおよびそれらの製造方法

発明の利用分野

本発明は、圧電／電歪素子、圧電／電歪デバイスおよびそれらの製造方法に関し、さらに詳しくは、圧電／電歪層と内部電極層とを交互に積層してなる積層型の圧電／電歪素子、圧電／電歪デバイスおよびそれらの製造方法に関する。

従来技術

近年、光学、磁気記録、精密加工、印刷などの各種の分野において、例えば光路長や位置などをサブミクロンオーダで制御したり、振動を精密に制御するための変位素子が要望されている。この要望に応える変位素子としては、例えば強誘電体などである圧電／電歪材料に電圧を印加したときに起こる逆圧電効果や電歪効果に因る変位を利用するものがある。

従来、この種の変位素子としては、図34に示すような特開平4-309274号公報に開示された積層型圧電素子100が知られている。この積層型圧電素子100は、図34に示すように、複数の圧電体セラミックス層101と電極層102とを交互に積層してなる積層体103と、この積層体103の互いに対向する2つの側面で各電極層102を交互に共通接続するとともに、この積層体103の上下面に延伸するように形成された互いに電気的に分離された一対の外部電極104、105とを備えている。また、この積層型圧電素子100においては、外部電極104、105の形成される積層体103の側面と上下面とのなす稜線部の曲率半径が、圧電体セラミックス層101の厚さの1/2を越えない範囲で稜線部に丸みが付けられている。

また、図34示すような積層型圧電素子100を製造するには、まず、原料を

秤量し、粉碎してバインダと共に混合し、さらに脱泡した後、シート状に形成して矩形状のグリーンシート（焼成により圧電体セラミックス層１０１になる）１０１Ａを打ち抜く。このグリーンシート１０１Ａの一方の表面に所定領域に亘って導電ペーストを印刷して電極層１０２を形成する。次に、図３５に示すように、電極層１０２が適宜印刷されたグリーンシート１０１Ａを積層圧着し、必要に応じて切断した後、焼成して図３６に示すような積層体１０３を作製する。この結果、グリーンシート１０１Ａは、上記したように、焼成されて圧電体セラミックス層１０１となる。なお、この積層体１０３においては、互いに対向する一对の側面に電極層１０２が交互に露出するように電極層１０２の配置位置が予め設定されている。その後、このようにして得られた積層体１０３の上下面に外部上面電極１０４Ａ、外部下面電極１０５Ａを所定領域に形成する。次に、積層体１０３の電極層１０２が交互に露出する一对の対向する側面１０６、１０７に、外部側面電極（厚膜電極）１０４Ｂ、１０５Ｂを形成して図３４に示すような積層型圧電素子１００が形成される。ここで、一方の外部側面電極１０４Ｂは外部上面電極１０４Ａに接続するように形成し、他方の外部側面電極１０５Ｂは外部下面電極１０５Ａに接続するように形成する。なお、上記した外部電極１０４、１０５の形成方法としては、浸漬法（ディッピング）、蒸着法などがある。

図３７は、このような構成の積層型圧電素子１００を用いたアクチュエータ２００を示している。このアクチュエータ２００は、積層型圧電素子１００が可動板（振動板）１１０の上に、接着剤１１１にて固定されてなる。

その他の変位素子としては、特開昭６３－２９５２６９号公報に開示された圧電変位素子が知られている。この圧電変位素子は、圧電性を有するセラミックス薄板の内部に複数の対向する内部電極層を備えてなる。そして、セラミックス薄板における側端面と上下面との境界となる角部は、機械的に面取りされている。このセラミックス薄板の表裏面および対向する両側端面には、内部電極層と接続する一对の対向表面電極が互いに電気的に分離された状態で形成されている。対向表面電極は、セラミックス薄板の表面にスパッタ法、蒸着法などの物理蒸着法や、メッキなどの成膜法で形成されている。

発明の要約

図34に示した積層型圧電素子100では、グリーンシート101Aの端縁部がハンドリングに伴って変形や損傷を受けたり、破損される可能性が高いという問題点がある。特に、積層体103の総膜厚（厚さ）が $100\mu\text{m}$ 以下の薄い圧電素子では、グリーンシート101Aがハンドリングで破損する可能性が高いものであった。このため、従来の積層型圧電素子100においては製造歩留まりが低いという問題点があった。

一方、特開昭63-295269号公報に開示された圧電変位素子は、セラミックス薄膜の端部を機械的に斜めに切断して面取りを行っているため、工数が多くなるとともに、機械的な切断に伴ってセラミックス薄膜が損傷される虞があった。

本発明は上記課題を解決するためになされたものである。そこで、本発明は、強度、耐衝撃性、取扱い性、寸法精度、位置精度、素子特性の安定性、ならびに製造歩留まりに優れた圧電／電歪素子および圧電／電歪デバイスおよびそれらの製造方法を提供することを目的としている。

上記課題を解決するために、本発明の第1の特徴は、互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上の一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる、圧電／電歪素子としたことを要旨とする。

このような構成の本発明の第1の特徴に係る圧電／電歪素子では、一方の底面から他方の底面へ向けて漸次狭くなるような概ね台形状であるため、他方の底面と、両側の斜面とのなす角度が鈍角となり、この他方の底面と両側の斜面とでなす稜線部分（角）の強度が大きくなる。このため、例えば、他方の（狭い方の）

底面を可動板（振動板）の上に固定したときに、外力や圧電／電歪素子自体の振動により前記稜線部分が損傷や破壊されるのを防止する作用がある。また、このように他方の底面を可動板（振動板）の上に接着剤で固定する場合に、可動板と圧電／電歪素子の両側の斜面とで形成される凹状（V溝状）の空隙に接着剤を充填することができ、圧電／電歪素子を可動板に固定する力（接着力）をさらに大きくすることができる。また、この凹状の空隙に接着剤を存在させることができるため、圧電／電歪素子と可動板との熱膨張差に起因する応力が働いても、圧電／電歪素子が可動板から剥離することを防止する作用がある。

また、圧電／電歪層は、積層方向の一方に向けて漸次狭くなるため、例えば外部電極層、圧電／電歪層、ならびに内部電極層を所定の順で積層する際に、下地層に対して安定した状態でこれら圧電／電歪層を載置、積層することができる。このため、例えばスクリーン印刷法などを用いて、外部電極層、圧電／電歪層、ならびに内部電極層を印刷して積層させる場合に、下側に位置する圧電／電歪層が上側に位置する圧電／電歪層より大きい面積であるため、容易に印刷することができる。また、スクリーン印刷法によれば、外部電極層を積層体の斜面（側面部）に沿って例えば導電ペーストを配することが可能となる。

さらに、両側面部に形成された外部電極層の両方を、積層体の広い方の底面に延伸するようにそれぞれ延設することにより、両方の外部電極層に駆動電圧を印加するための配線や発生電圧を検出するための配線などを接続する接続領域（パッド部）を確保できるため配線の接続が容易になる。特に、上記したように、積層体の狭い方の底面を可動板上に固定する場合に、広い方の底面でスペース的な余裕をもって配線を接続（ボンディング）することができる。また、積層体の広い方の底面に延設された両方の外部電極層のうち一方の外部電極層の幅を長くとることにより、この一方の外部電極層を実質的に電圧印加電極または電圧検出電極として用いることが可能となる。

また、圧電／電歪素子の一方の表面を圧電／電歪層で形成することにより、例えば可動板上に圧電／電歪層側を接着した場合に、圧電／電歪層と親和性のある接着剤を用いて接着力を高めることが可能となる。

本発明の第2の特徴は、互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広

面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる圧電／電歪素子が、可動板の表面に対して前記積層体の幅狭面側で接着されている、圧電／電歪デバイスとしたことを要旨とする。

このような第2の特徴に係る圧電／電歪デバイスでは、積層体の面積の狭い方の底面側が可動板の上に接着されるため、面積の狭い方の底面と両側の側面部とでなす角度が鈍角をなす角部が可動板に当接する。このように鈍角をなす角部は、鋭角をなす角部や直角をなす角部よりも強度が高くなるため、圧電／電歪デバイスの強度、耐衝撃性などの耐久性を高める作用を有する。

また、可動板と圧電／電歪素子の両側面部とで形成される空隙（凹部）が、固化する前の流動性を有する状態の接着剤の液溜め部となり、塗布した接着量のばらつきや、圧電／電歪素子および可動板のうねりに起因する、接着剤の過不足を吸収する役割を果たす。また、可動板の上の適正な領域に適正な量の接着剤を配することで、上記空隙に収容される接着剤の表面張力などの作用により、圧電／電歪素子を適正な位置にオートアライメントできる。

加えて、この空隙に接着剤が充填されることにより、可動板に対して圧電／電歪素子を強固に固定することができる。そして、この空隙に充填される接着剤は、固化しても弾性を有するものであれば、可動板と圧電／電歪素子との間に熱膨張差に起因して応力が発生してもその応力を緩和して、圧電／電歪素子が可動板から剥離するのを抑制することができる。このように、圧電／電歪素子の両側部と可動板とで形成される空隙に接着剤を充填できるため、圧電／電歪素子が小型化されても、圧電／電歪素子の固定力の低下を抑制することができる。

さらに、圧電／電歪素子の両側面部に形成された外部電極層を、積層体の広い

方の底面に延設したことにより、両方の外部電極層へ外部配線を接続するための接続面積を稼ぐことができる。

また、可動板を導体として、圧電／電歪素子の一方の外部電極層をこの可動板に接続することにより、他方の外部電極層の配線スペースの拡大化と接続作業の簡便化を図ることができる。

本発明の第3の特徴は、所定の幅を有するセラミック基板を準備する工程と、互いに重なるように配置された第1および第2部分からなる積層体を前記セラミック基板上に形成する工程であって、前記第1部分は、前記セラミック基板上に所定間隔離間して配置される第1電極層と第2電極層とを形成し、圧電／電歪ペーストを用いて、前記第1および第2電極層上に、この第1および第2電極層の前記セラミック基板の幅方向の外側に位置する縁部以外の部分を覆うように圧電／電歪層を形成し、圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第1電極にのみ電気的に接続されるように第1電極層を形成する工程からなり、前記第2部分は、圧電／電歪ペーストを用いて、前記第1電極層の最上層上に、この工程で形成されるものの直下に位置する前記圧電／電歪層より幅が狭い圧電／電歪層を形成し、圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第2電極にのみ電気的に接続されるように第2電極層を形成し、圧電／電歪ペーストを用いて、前記第2電極層の最上層上に、この工程で形成されるものの直下に位置する前記圧電／電歪層より幅が狭い圧電／電歪層を形成し、圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第1電極にのみ電気的に接続されるように第1電極層を形成する、一連の工程を所定回数実施することにより形成され、前記セラミック基板と、前記積層体とを所定温度で焼成する工程と、前記セラミック基板から前記積層体を取り外す工程と、からなる、圧電／電歪素子の製造方法としたことを要旨とする。

このような構成の第3の特徴に係る圧電／電歪素子の製造方法では、漸次面積が小さくなるように、圧電／電歪厚膜を印刷により積み重ねることができるため、製造が容易になる。このように、圧電／電歪厚膜と第1電極材料層と第2電極材料層とを共に印刷法により形成できるため、搬送ずれや搬送に伴う変形などの悪

影響を受けず、寸法精度および位置精度の高い圧電／電歪素子を作製することができる。そして、圧電／電歪厚膜を搬送して積み重ねる工程が不要となるため、圧電／電歪厚膜がハンドリングされることがなく、損傷を受けたり破壊されるのを防止することができる。

また、第1電極材料層と第2電極材料層とを繰り返して印刷することにより、積層体の両側に外部側面電極となる部分を順次、連続するように形成することができるため、別途外部側面電極を形成する工程が不要となる。

さらに、圧電／電歪素子の作製に際して用いるセラミック基板の上に、積層体を焼成する際に消失する皮膜を予め形成しておくことにより、焼成されたときに圧電／電歪素子を容易にセラミック基板から取り外すことができる。

また、この発明では、圧電／電歪素子を平面的に見て最も外側の輪郭をなす外部側面電極が印刷により位置決め精度よく形成できる。例えば位置決めピンなどで圧電／電歪素子の位置決めを行いつつ、圧電／電歪素子を例えば可動板などに載置、固定する際に、圧電／電歪素子を位置精度よく配置させることができる。

本発明の第4の特徴は、互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる、圧電／電歪素子の幅狭面側を、可動板の表面に接着剤を介して接続する、圧電／電歪デバイスの製造方法としたことを要旨とする。

このような構成の第4の特徴に係る圧電／電歪デバイスの製造方法では、可動板に対して積層体の面積の狭い方の底面側を接着剤で接着するため、圧電／電歪素子の両側面の傾斜面と可動板とで形成される空隙（凹部）に接着剤が充填され易くなる。このため、この空隙の大きさに応じて接着剤を必要十分に充填でき、

接着力を確保することができる。圧電／電歪素子同士を接合する場合も両方の圧電／電歪素子の側面部同士が空隙（凹部）を形成するため、同様に接着力を高める作用を有する。

また、圧電／電歪素子の面積の狭い方の底面が可動板に接着されるため、圧電／電歪素子の両側面部と可動板とのなす角度が鈍角となり、圧電／電歪素子に局部的な損傷や破壊が発生するのを抑制する作用がある。このような作用は、圧電／電歪素子同士を狭い方の底面同士で接合する場合も同様に働く。

また、可動板の上に配する接着剤を所定の粘度に設定すれば、圧電／電歪素子を接着剤の上に載置したときに、圧電／電歪素子の両側面の傾斜面と可動板とで形成される空隙（凹部）に接着剤が充填されことで、圧電／電歪素子を自動的に位置決めすることができる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子を示す斜視図である。

図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の平面図である。

図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の底面図である。

図 4 は、図 2 の A-A 断面図である。

図 5 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの側面図である。

図 6 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの平面図である。

図 7 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの用い方を示す側面説明図である。

図 8 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの変形例 1 を示

す側面説明図である。

図 9 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの変形例 2 を示す側面説明図である。

図 10 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの変形例 3 を示す側面説明図である。

図 11 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの変形例 4 を示す側面説明図である。

図 12 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す平面図である。

図 13 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す側面図である。

図 14 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す平面図である。

図 15 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 16 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 17 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 1 8 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 1 9 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 0 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 1 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 2 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 3 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 4 は、本発明の第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の製造方法を示す工程断面図である。

図 2 5 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の側面図である。

図 2 6 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪素子の平面図である。

図 2 7 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの側面図である。

図 2 8 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法を

示す平面図である。

図 2 9 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法を示す平面図である。

図 3 0 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法に用いる可動板位置決め治具を示す平面図である。

図 3 1 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法に用いる可動板位置決め治具を示す側面図である。

図 3 2 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法に用いる素子位置決め板を示す平面図である。

図 3 3 は、本発明の第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイスの製造方法における可動板位置決め治具と素子位置決め板とを組み合わせた状態を示す側面図である。

図 3 4 は、従来の圧電／電歪素子を示す斜視図である。

図 3 5 は、従来の圧電／電歪素子の製造工程を示す斜視図である。

図 3 6 は、従来の圧電／電歪素子の積層体を示す斜視図である。

図 3 7 は、従来の圧電／電歪デバイスを示す側面図である。

図 3 8 は、従来の圧電／電歪素子の位置決め状態を示す平面説明図である。

図 3 9 は、従来の圧電／電歪デバイスの要部拡大側面図である。

実施例の詳細な説明

以下、本発明に係る圧電／電歪素子、圧電／電歪デバイスおよびそれらの製造方法の詳細を図面に示す実施の形態に基づいて説明する。但し、図面は模式的なものであり、各材料層の厚みや膜厚比率などは現実のものとは異なることにことに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参照して判断すべきものである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれることは勿論である。

ここで、本発明における圧電／電歪素子および圧電／電歪デバイスとは、逆圧電効果ならびに電歪効果あるいは圧電効果により、電気的エネルギーと機械的エネルギーとを相互に変換する素子およびそれを用いたデバイスを包含する概念である。したがって、各種アクチュエータや振動子などの能動素子、特に、逆圧電効果や電歪効果による変位を利用した変位素子として用いられるほかに、圧電効果を利用した加速度センサや衝撃センサ素子などの受動素子としても用いることができる。

〔第 1 の実施の形態〕

（圧電／電歪素子）

まず、図 1 ～ 図 4 を用いてこの実施の形態に係る圧電／電歪素子の構成の大略を説明する。図 1 に示すように、この実施の形態に係る圧電／電歪素子 10 は、例えば 4 層の圧電／電歪層 11 A、11 B、11 C、11 D と、これらの圧電／電歪層 11 A、11 B、11 C、11 D の互いに隣接する層同士の間を介在される例えば 3 層の内部電極層 12 A、12 B、12 C と、これら内部電極層 12 A、12 B、12 C が交互に接続された一対の外部電極層 14、15 とを備えてなる。そして、この圧電／電歪素子 10 は、上下一対の対向する底面がともに長方形形状をなす概ね台形状の積層体構造を有する。

図 1 に示すように、この圧電／電歪素子 10 における一方の底面（上面）f1 の面積は、他方の底面（下面）f2 の面積より広く設定されている。図 1 に示すように、面積の広い方の底面 f1 の幅（図中 x で示す矢印方向の長さ）は W1 で

あり、長さ（図中 y で示す矢印方向の長さ）は L_1 である。なお、図2は面積の広い方の底面 f_1 を示す平面図であり、図3は面積の狭い方の底面 f_2 側から見た圧電／電歪素子10の底面図である。圧電／電歪素子10における面積の狭い方の底面 f_2 は、図3に表されている。図3に示すように底面 f_2 の幅は底面 f_1 の幅寸法 W_1 より短い W_2 であり、底面 f_2 の長さは底面 f_1 の長さ寸法 L_1 と同じである。

そして、図3に示す底面図から分かるように、底面 f_2 の両側縁は、底面 f_1 の両側縁から等距離 W_3 だけ内側に位置し、長さ方向には底面 f_1 と重なるように設定されている。このため、圧電／電歪素子10においては、図1および図3に示すように、 x 方向の両側に斜面 f_3 、 f_4 が形成されている。これら一对の斜面 f_3 、 f_4 は、面積の広い方の底面 f_1 から面積の狭い方の底面 f_2 に向けて互いに近づく方向へ向けて傾斜している。

以上、圧電／電歪素子10の外観構造を説明したが、次に、この圧電／電歪素子10を構成する各部材の構造および位置関係について図1～図4を用いて詳細に説明する。なお、図4は、図2のA-A断面図である。

この実施の形態に係る圧電／電歪素子10において、圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dは、例えばチタン酸ジルコン亜鉛（PZT）などで形成されている。因みに、PZTで形成した場合は、圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dの強度は70MPa程度となる。また、内部電極層12A、12B、12Cおよび外部電極層14、15は、例えば白金（Pt）で形成されている。

この圧電／電歪素子10では、底面 f_1 から底面 f_2 へ向けて積層される圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dが漸次幅が短くなるように設定されている。この結果、圧電／電歪素子10全体では、上記したように両側部に斜面 f_3 、 f_4 が形成されている。

また、圧電／電歪層11A、11Bの間には、斜面 f_3 から斜面 f_4 側へ向けて伸びるように内部電極層12Aが介在されている。なお、この内部電極層12Aは、斜面 f_4 までは到達しないように設定されている。圧電／電歪層11B、11Cの間には、斜面 f_4 から斜面 f_3 側へ向けて伸びるように内部電極層12Bが介在されている。この内部電極層12Bは、斜面 f_3 までは到達しないよう

に設定される。圧電／電歪層 11C、11Dの間には、上記内部電極層 12Aと同様に斜面 f3 から斜面 f4 側へ向けて伸びるように内部電極層 12C が介在されている。上記した内部電極層 12A、12C における斜面 f4 側の端縁は、平面的には同位置にあり、上下で重なる位置にあることが好ましいが、斜面 f4 に沿うように内部電極層 12C の方が x 方向に短くてもよい。

さらに、斜面 f3、f4 には、外部電極層 14、15 の斜面部 14A、15A が形成されている。この実施の形態では、斜面部 14A の幅（斜面傾き方向の長さ）が斜面部 15A の幅より長く設定されている。その斜面部 14A は、図 4 に示すように、斜面 f4 全部を覆うように形成されている。この結果、外部電極層 14 の斜面部 14A は内部電極層 12B に接続され、外部電極層 15 の斜面部 15A は内部電極層 12A、12C とに接続されている。すなわち、これら外部電極層 15、14 は、内部電極層 12A、12B、12C に交互に接続された構造となっている。

また、最も幅の広い圧電／電歪層 11A の上面（外側表面）には、図 1 に示すように外部電極層 14、15 の上面部 14B、15B が、圧電／電歪層 11A の外側表面の x 方向両側縁から延伸して互いに近づくように形成されている。なお、これら外部電極層 14、15 の上面部 14B、15B は、一方の縁部側で離間している。すなわち、この実施の形態では、外部電極層 14 の上面部 14B の幅（x 方向の長さ）が長く、外部電極層 15 の幅が短く設定されている。また、外部電極層 14 の上面部 14B における斜面 f3 側の端縁は、上記した内部電極層 12B の端縁と平面的に同位置となるように設定されているが、特に限定されない。

そして、最も幅の狭い圧電／電歪層 11D の下面（外側表面）には、外部電極層 14 の下面部 14C が形成されている。この下面部 14C は、斜面部 14A の下端縁から斜面 f3 側へ向けて伸びるように形成されている。また、この下面部 14C における斜面 f3 側の端縁は、内部電極層 12B の端縁と平面的に同位置となるように設定されているが特に限定されない。

なお、この実施の形態では、圧電／電歪層 11A、11B、11C、11D を 4 層とし、内部電極層 12A、12B、12C を 3 層とし、外部電極層 14 の上

面部分 14B、下面部 14C を圧電／電歪素子 10 の上下面に対向電極として機能するように配置したが、各層の層数や、外部電極層 14、15 のそれぞれに接続された内部電極層の数は、互いに等しくても、等しくなくてもよい。これら、電極層の数は、駆動電圧との関係や、後述する可動板の変位度合などとの関係を考慮して設定するものである。なお、圧電／電歪層の総数を多くすれば、この圧電／電歪素子 10 が固定される可動板を駆動する駆動力が増大し、もって大きな変位を図ることができるとともに、圧電／電歪素子 10 の剛性が増すことで、高共振周波数化が図られ、変位動作の高速化が容易に達成できる。

この実施の形態における圧電／電歪層 11A、11B、11C、11D の具体的な材料としては、上述したチタン酸ジルコン亜鉛（PZT）の他に、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、アンチモンズ酸鉛、マンガンタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛、チタン酸バリウム、チタン酸ナトリウムビスマス、ニオブ酸カリウムナトリウム、タンタル酸ストロンチウムビスマスなどを単独で、あるいは混合物として含有するセラミックスが挙げられる。

特に、高い電気機械結合係数と圧電定数を有し、圧電／電歪層 11A、11B、11C、11D の焼結時における焼成セッター（この場合ジルコニア、アルミナ、マグネシア等の酸化物セラミック）との反応性が小さく、安定した組成のものが得られる点において、ジルコン酸鉛、チタン酸鉛、およびマグネシウムニオブ酸鉛を主成分とする材料、もしくはチタン酸ナトリウムビスマスを主成分とする材料がある。

さらに、上記したセラミックス材料に、ランタン（La）、カルシウム（Ca）、ストロンチウム（Sr）、モリブデン（Mo）、タングステン（W）、バリウム（Ba）、ニオブ（Nb）、亜鉛（Zn）、ニッケル（Ni）、マンガン（Mn）、セリウム（Ce）、カドミウム（Cd）、クロム（Cr）、コバルト（Co）、アンチモン（Sb）、鉄（Fe）、イットリウム（Y）、タンタル（Ta）、リチウム（Li）、ビスマス（Bi）、スズ（Sn）などの酸化物などを単独で、もしくは混合したセラミックスを用いてもよい。

加えて、例えば主成分であるジルコン酸鉛とチタン酸鉛およびマグネシウムニ

オブ酸鉛に、ランタン（L a）やストロンチウム（S r）を含有させることにより、抗電界や圧電特性が調整可能となる等の利点を得られる場合がある。

なお、シリカなどのガラス化し易い材料の添加は避けることが望ましい。その理由は、シリカなどの材料は、圧電／電歪層 1 1 A、1 1 B、1 1 C、1 1 D の熱処理（焼成）時に、圧電／電歪材料と反応し易く、その組成を変動させ圧電特性を劣化させるからである。

なお、このように圧電／電歪層 1 1 A、1 1 B、1 1 C、1 1 D としては、上記した各種の圧電セラミックスが好適に用いられるが、電歪セラミックスや強誘電体セラミックス、あるいは反強誘電体セラミックスを用いることも可能である。ただし、この圧電／電歪素子 1 0 をハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めなどに用いる場合は、可動部分の変位量と駆動電圧または出力電圧とのリニアリティが重要となるため、歪み履歴の小さい材料を用いることが好ましく、従って、抗電界が 1 0 k V / mm 以下の材料を用いることが好ましい。

また、外部電極層 1 4、1 5 としては、室温で固体であり、導電性に優れた金属で構成されることが好ましい。このような金属としては、上記した白金（P t）の他に、例えばアルミニウム（A l）、チタン（T i）、クロム（C r）、鉄（F e）、コバルト（C o）、ニッケル（N i）、銅（C u）、亜鉛（Z n）、ニオブ（N b）、モリブデン（M o）、ルテニウム（R u）、パラジウム（P d）、ロジウム（R h）、銀（A g）、スズ（S n）、タンタル（T a）、タングステン（W）、イリジウム（I r）、金（A u）、鉛（P b）などの金属の単体、もしくはこれらの合金を用いることができる。また、これらの材料に圧電／電歪層 1 1 A、1 1 B、1 1 C、1 1 D と同じ材料を分散させたサームット材料を用いてもよい。

さらに、圧電／電歪素子 1 0 における外部電極層 1 4、1 5 および内部電極層 1 2 A、1 2 B、1 2 C の材料選定は、圧電／電歪層 1 1 A、1 1 B、1 1 C、1 1 D の形成方法に依存して決定される。これら圧電／電歪層の形成方法は、後述する。

このような構成の圧電／電歪素子 1 0 では、図 4 に示すように、下面 f 2 の幅方向両側の角部（稜線部）1 6、1 7 が鈍角となっている。すなわち、下面 f 2

が斜面 f 3、f 4 とそれぞれなす角度が鈍角となっている。このため、この角部 1 6、1 7 は、直角や鋭角をなす角部の強度に比較すると大きな強度を有する。このように角部 1 6、1 7 の強度を高めた構造としたことにより、この圧電／電歪素子 1 0 では、下面 f 2 を可動板（振動板）の上に固定したときに、この圧電／電歪素子 1 0 自体の振動や外力により角部 1 6、1 7 が損傷や破壊されるのを防止する作用がある。

また、面積の広い方の底面 f 1 側に外部電極層 1 4、1 5 の上面部 1 4 B、1 5 B がともに配置されているため、これら上面部 1 4 B、1 5 B を接続領域（パッド部）とすることができ、配線を容易に接続することができる。

（圧電／電歪デバイス）

次に、図 5～図 7 を用いて、第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 1 0 を用いた圧電／電歪デバイス 2 0 の実施例について説明する。なお、図 5 は圧電／電歪デバイス 2 0 の側面図、図 6 は圧電／電歪デバイス 2 0 の平面図である。

この圧電／電歪デバイス 2 0 は、上記した構成の圧電／電歪素子 1 0 の面積が狭い方の下面 f 2 が、可動板（振動板）2 1 の上に接着剤 2 2 を用いて接着されたユニモルフ型に構成されている。この実施の形態に係る圧電／電歪デバイス 2 0 では、圧電／電歪素子 1 0 と可動板 2 1 とが略同じ幅寸法（図 6 中矢印で示す y 方向の長さ）に設定されている。また、可動板 2 1 の長さ（図 6 中矢印で示す x 方向の長さ）は、圧電／電歪素子 1 0 の長さより長くなるように設定されている。なお、可動板 2 1 は、可撓性を有し、屈曲変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものであればよく、応答性、操作性などを考慮して適宜材料選択することができる。

このような圧電／電歪デバイス 2 0 において、接着剤 2 2 は、可動板 2 1 の上面と圧電／電歪素子 1 0 の底面（下面）f 2 および斜面 f 3、f 4 との間に介在されて圧電／電歪素子 1 0 を可動板 2 1 の上面に接着、固定している。特に、圧電／電歪素子 1 0 の斜面 f 3、f 4 と可動板 2 1 の上面とで形成される V 溝状の空隙には、接着剤 2 2 が充填されている。この結果、圧電／電歪素子 1 0 と接着剤 2 2 とがなす形状は、略台形状もしくは略直方体形状となっている。

なお、可動板 21 は、圧電／電歪素子 10 の駆動に基づいて作動する部分であり、この圧電／電歪デバイス 20 の使用目的に応じて種々の部材が取り付けられる。例えば、この圧電／電歪デバイス 20 を変位素子として使用する場合であれば、光シャッタの遮蔽板などが取り付けられる。また、この圧電／電歪デバイス 20 をハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めやリングング抑制機構にしようするのであれば、磁気ヘッド、磁気ヘッドを有するスライダ、スライダを有するサスペンションなどの位置決めを必要とする部材が取り付けられる。

この可動板 21 を構成する材料としては、ジルコニアをはじめとするセラミックスが好ましい。中でも安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料は、薄肉であっても機械的強度が大きいこと、靱性が高いことから可動板 21 の材料として好ましい。

また、可動板 21 を金属材料で構成する場合には、可撓性を有し、屈曲変形が可能な金属材料であればよいが、例えば鉄系材料としては、各種ステンレス鋼、各種パネ鋼材で構成することが望ましい。また、非鉄系材料としては、ベリリウム銅、リン青銅、ニッケル、ニッケル鉄合金などで構成することが望ましい。

このような構成の圧電／電歪デバイス 20 では、圧電／電歪素子 10 の斜面 f3、f4 と可動板 21 の上面とで形成される V 溝状の空隙が圧電／電歪素子 10 の両側に形成され、この空隙が液状またはペースト状の接着剤 22 の液溜めとして機能する。また、この空隙に保持された接着剤 22 は、表面張力により塊状を保持しながら固化する。したがって、接着剤 22 が圧電／電歪素子 10 の上側や可動板 21 の下側へのはみ出しや回り込みを抑制することができる。また、可動板 21 の上に塗布された接着剤 22 の量を所定量に設定することにより、圧電／電歪素子 10 の斜面 f3、f4 と可動板 21 の上面とで形成される V 溝状の空隙内に過不足なく充填される。

そして、上述したように、圧電／電歪素子 10 の下面 f2 の両側の角部（稜線部）16、17 が鈍角となっているため、この角部 16、17 は、直角や鋭角をなす角部の強度に比較すると大きな強度を有する。このように角部 16、17 の強度を高めた構造としたことにより、この圧電／電歪デバイス 20 では、圧電／電歪素子 10 の振動や外力により角部 16、17 が損傷や破壊されるのを防止す

る作用がある。

さらに、V溝状の空隙に接着剤22が充填されているため、圧電／電歪素子10と可動板21との熱膨張差に起因する応力が最大となる圧電／電歪素子端部付近において、接着剤が低弾性率であることに起因して接着力を保持しつつ応力を緩和して、圧電／電歪素子10の破壊と、圧電／電歪素子10の可動板21からの剥離とを防止する作用がある。

また、面積の広い方の底面f1側に外部電極層14、15の上面部14B、15Bがともに配置されているため（同一平面上に配置されているため）、これら上面部14B、15Bに配線を容易に接続することができる。

このような構成の圧電／電歪デバイス20を能動デバイスとして用いる場合は、図7に示すように、底面f1に形成された外部電極層14の上面部14Bと外部電極層15の上面部15Bとにそれぞれ配線23、24を接続し、これら配線23、24を電圧印加回路25に接続すればよい。このように能動デバイスとして適用した場合は、各種トランスデューサ、各種アクチュエータ、周波数領域機能部品（フィルタ）、トランス、通信用や動力用の振動子や共振子、発振子、ディスクリミネータなどとして用いることができる。なお、配線23、24としては、フレキシブルプリント回路体（FPC）、フレキシブルフラットケーブル（FFC）、ボンディングワイヤなどを用いることが好ましい。

また、この圧電／電歪デバイス20を受動デバイスとして用いる場合は、図7に示す電圧印加回路25に変えて電圧検出回路26に配線23、24を接続すればよい。なお、このように、圧電／電歪素子10の外部電極層14、15の上面部14B、15Bに配線23、24を接続する場合は、接着剤22は電気絶縁性を有するものを用いることが好ましい。このように受動デバイスとして適用した場合は、超音波センサや加速度センサ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサなどとして用いることができる。

（圧電／電歪デバイスの変形例1）

図8は、第1の実施の形態に係る圧電／電歪素子10を用いた圧電／電歪デバイスの変形例1を示す側面説明図である。なお、この変形例1の構成において、

上記した圧電／電歪デバイス 20 と同一部分には同一の符号を付し、類似部分には類似の符号を付して説明する。

この変形例 1 に係る圧電／電歪デバイス 20 A は、上記した圧電／電歪素子 10 の狭い方の底面 f 2 が、導電性を有する可動板 21 の上面に、導電性を有する接着剤 22 A で接着、固定されたものである。

また、この変形例 1 では、圧電／電歪素子 10 の底面 f 2 に形成された外部電極層 14 の下面部 14 C および斜面部 14 A の下部が、導電性を有する接着剤 22 A を介して可動板 21 に接続、固定されるものであり、他方の外部電極層 15 の斜面部 15 A に接着剤 22 A が及ばないように設定されている。このように外部電極層 15 の斜面部 14 A に接着剤 22 A が及ばないようにするには、可動板 21 に塗布する接着剤 22 A の量を適宜設定すればよい。

このような構成の圧電／電歪デバイス 20 A では、可動板 21 に配線 23 が接続され、外部電極層 15 の上面部 15 B に配線 24 が接続される。そして、図 8 に示すように、これら配線 23、24 を電圧印加回路 25 に接続することにより、この圧電／電歪デバイス 20 A を能動デバイスとして用いることができる。また、同じく図 8 に示すように、配線 23、24 を電圧検出回路 26 に接続すれば、圧電／電歪デバイス 20 A を受動デバイスとして用いることができる。

ここで、導電性を有する接着剤 22 A としては、導電性を有する金属フィラーを含むものや、半導体実装の分野で用いられている異方性導電接着剤など各種の導電性接着剤を適宜選択することができる。

また、導電性を有する可動板 21 としては、可撓性を有し、屈曲変形が可能な金属材料であればよい。例えば、鉄系材料としては、各種ステンレス鋼、各種パネ鋼材で構成することが望ましい。また、非鉄系材料としては、ベリリウム銅、リン青銅、ニッケル、ニッケル鉄合金などで構成することが望ましい。

（圧電／電歪デバイスの変形例 2）

図 9 は、第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 10 を用いた圧電／電歪デバイスの変形例 2 を示す側面図である。なお、この変形例 2 の構成において、上記した圧電／電歪デバイス 20 と同一部分には同一の符号を付し、類似部分には類

似の符号を付して説明する。

この変形例 2 に係る圧電／電歪デバイス 20 B は、一枚の可動板 21 の表裏面にそれぞれ上記構成の圧電／電歪素子 10 を接着剤 22 で固定したバイモルフ型の構造を有している。可動板 21 の表裏面のそれぞれには、圧電／電歪素子 10 の面積の狭い方の底面 f 2 側が当接して可動板 21 を挟むように接着されている。

この変形例 2 に係る圧電／電歪デバイス 20 B では、それぞれの圧電／電歪素子 10 の外部電極層 14、15 の上面部 14 B、15 B に配線を接続してもよいし、可動板 21 を両方の圧電／電歪素子 10 の共通電極とし、それぞれの圧電／電歪素子 10 の上面部 15 B のみに配線を接続する構成としてもよい。

なお、圧電／電歪素子 10 同士の組み合わせは、可動板 21 を挟んで分極方向が対称となるように配置した対称型（シリーズタイプ）でもよいし、両方の圧電／電歪素子 10 の分極方向が同一方向となるように配置した非対称型（パラレルタイプ）としてもよい。

（圧電／電歪デバイスの変形例 3）

図 10 は、第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 10 を用いた圧電／電歪デバイスの変形例 3 を示す側面図である。なお、この変形例 2 の構成において、上記した圧電／電歪デバイス 20 と同一部分には同一の符号を付し、類似部分には類似の符号を付して説明する。

この変形例 3 に係る圧電／電歪デバイス 20 C は、一対の圧電／電歪素子 10 を互いに狭い方の底面 f 2 同士が対向するように配置した状態で、接着剤 22 を介在させて接着、固定したものである。この圧電／電歪デバイス 20 C は、可動板を備えないバイモルフ型の構造を有している。

なお、この変形例 3 においても上記した変形例 2 と同様に、圧電／電歪素子 10 同士の組み合わせは、対称型（シリーズタイプ）や非対称型（パラレルタイプ）を採用することができる。

（圧電／電歪デバイスの変形例 4）

図 11 は、第 1 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 10 を用いた圧電／電歪デ

パイスの変形例４を示す側面図である。

この変形例４に係る圧電／電歪デバイス２０Ｄは、図１１に示すように、所定間隔を隔てて相対向する可動板部３１、３１と、これら可動板部３１、３１の一方の端部側でこれら可動板部３１、３１同士の間介在されるように形成された固定部３２と、が一体に形成された基体３０を備え、これら一対の可動板部３１、３１の一方の端部側で対向外側面に、それぞれ圧電／電歪素子１０が接着、固定されてなる。

この圧電／電歪デバイス２０Ｄは、圧電／電歪素子１０、１０の駆動によって、一対の可動板部３１、３１が変位し、あるいは可動板部３１、３１の変位を圧電／電歪素子１０により検出する構成を有する。例えば、図１１に示す圧電／電歪デバイス２０Ｄでは、可動板部３１と圧電／電歪素子１０とでアクチュエータ部３３、３３が構成されている。また、一対の可動板部３１、３１の他方の端部には、互いに内側に向けて突出するように肉厚に形成された可動部３４、３４形成されている。これら可動部３４は、可動板部３１の変位動作に伴って変位する。

基体３０は、全体をセラミックスもしくは金属を用いて構成されたものの他、セラミックスと金属の材料で形成されたものを組み合わせたハイブリッド構造としてもよい。また、この基体３０は、各部を有機樹脂、ガラスなどの接着剤で接着してなる構造、セラミックスグリーン積層体を焼成により一体化してなるセラミックス一体構造、ロウ付け、半田付け、共晶接合もしくは溶接などで一体化した金属一体構造などの構成を採用することができ、好ましくは、セラミックスグリーン積層体を焼成により一体化したセラミックス積層体で基体３０を構成することが望ましい。このようなセラミックスの一体化物は、接合部位の信頼性が高く、剛性確保に有利な構造であることに加え、容易に製造することが可能である。

そして、圧電／電歪素子１０は、基体３０の一方の端部側の互いに外側の面に接着剤２２を介して接着、固定されている。この接着剤２２としては、有機系の接着剤でも、無機系の接着剤を用いてもよい。圧電／電歪素子１０は、面積の狭い方の底面ｆ２側で基体３０に接着されている。また、圧電／電歪素子１０の斜面ｆ３、ｆ４と基体３０の外側面とで形成されるＶ溝状の空隙には、接着剤２２が充填されている。この結果、圧電／電歪素子１０と接着剤２２とがなす形状は、

略台形状もしくは略直方体形状となっている。

また、圧電／電歪素子 10 における面積が広い方の底面 f1 には、外部電極層 14 の上面部 14B と外部電極層 15 の上面部 15B とが互いに電氣的に絶縁を保って（離間して）配置されているため、これら上面部 14B、15B に、図示しない電圧印加回路、もしくは電圧検出回路に接続される配線がボンディングされるようになっている。

また、この圧電／電歪デバイス 20D では、一対の可動部 34、34 の互いに対向する端面 34A、34A 間には、図 11 に示すように空隙（空気）を介在させるようにしてもよいし、これら端面 34A、34A 間に可動部 34 と同じ材料あるいは異なる材料からなる複数の部材を介在させるようにしてもよい。

このような構成の圧電／電歪デバイス 20D においては、基本的な構造を成す可動部 34、34、可動板部 31、31 および固定部 32 が強靱な材料で一体的に形成されているため、すべての部材を脆弱で比較的重い材料である圧電／電歪材料によって構成した圧電／電歪デバイスと比較して、この圧電／電歪デバイス 20D は、機械的強度が高く、ハンドリング性、耐衝撃性、耐湿性に優れ、動作上、有害な振動（例えば、高速作動時の残留振動やノイズ発生）の影響を受けにくいという利点がある。

また、このような圧電／電歪デバイス 20D では、互いに対向する可動部 34 の端面 34A、34A の間を空隙としたことにより、一方の端面 34A を含む可動部 34 と、他方の端面 34A を含む可動部 34 とが挟み易くなり、圧電／電歪デバイスの破壊に至らない変形限界が高くなる。そのため、圧電／電歪デバイス 20D がハンドリング性に優れるという利点がある。

このような圧電／電歪デバイス 20D において、可動部 34 は、上述したように、可動板部 31 の駆動量に基づいて作動する部分であり、圧電／電歪デバイス 20D の使用目的に応じて種々の部材が取り付けられる。例えば、圧電／電歪デバイス 20D を変位素子として使用する場合であれば、例えば光シャッタの遮蔽板が取り付けられ、また、ハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めやリネーシング抑制機構の使用するのであれば、磁気ヘッド、磁気ヘッドを有するスライダ、スライダを有するサスペンションなどの位置決めを必要とする部材が取り

付けられる。

また、固定部 3 2 は、上述したように、可動板部 3 1 および可動部 3 4 を支持する部分であり、例えばハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めに利用する場合には、ボイスコイルモータ（VCM）に取り付けられたキャリッジアーム、このキャリッジアームに取り付けられた固定プレートまたはサスペンションなどにこの固定部 3 2 を支持、固定することにより、圧電／電歪デバイス 2 0 D 全体を固定できる。

さらに、この変形例においても、可動板部 3 1 は、圧電／電歪素子 1 0 の変位により駆動される部分である。このため、可動板部 3 1 は、可撓性を有する薄板状の部材であって、表面に配設された圧電／電歪素子 1 0 の伸縮変位を屈曲変位として増幅して、その変位を可動部 3 4 に伝達する機能を有する。したがって、可動板部 3 1 の形状や材質は、可撓性を有し、屈曲変位によって破損しない程度の機械的強度を有するものであれば足り、可動部 3 4 の応答性、操作性を考慮して適宜選択することができる。

この可動板 3 1 を構成する材料としては、ジルコニアをはじめとするセラミックスが好ましい。中でも安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料は、薄肉であっても機械的強度が大きいこと、靱性が高いことから可動板 3 1 の材料として好ましい。

また、可動板 3 1 を金属材料で構成する場合には、可撓性を有し、屈曲変形が可能な金属材料であればよいが、鉄系材料としては、各種ステンレス鋼、各種パネ鋼材で構成することが望ましい。また、非鉄系材料としては、ベリリウム銅、リン青銅、ニッケル、ニッケル鉄合金などで構成することが望ましい。

上記した安定化ジルコニアならびに部分安定化ジルコニアにおいては、以下に述べるように、安定化ならびに部分安定化されたものが好ましい。すなわち、ジルコニアを安定化ならびに部分安定化させる化合物としては、酸化イットリウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム、酸化カルシウム、および酸化マグネシウムがあり、少なくともそのうちの 1 つの化合物を添加、含有させることにより、あるいは 1 種類の化合物の添加のみならず、それら化合物を組み合わせることで添加することによっても、目的とするジルコニアの安定化は可能である。

なお、それぞれの化合物の添加量としては、酸化イットリウムや酸化イッテルビウムの場合にあっては、1～30モル%、好ましくは1.5～10モル%、酸化セリウムの場合にあっては、6～50モル%、好ましくは8～20モル%、酸化カルシウムや酸化マグネシウムの場合にあっては、5～40モル%、好ましくは5～20モル%とすることが望ましい。また、その中でも特に酸化イットリウムを安定化剤として用いることが好ましい。このように酸化イットリウムを安定化剤として用いる場合においては、1.5～10モル%、さらに好ましくは2～4モル%とすることが望ましい。

なお、機械的強度と安定した結晶相が得られるように、ジルコニアの平均結晶粒子径を0.05～3 μ m、好ましくは1 μ m以下とすることが望ましい。また、上述のように、可動板部31は、可動部34と固定部32と同様にセラミックスを用いることができるが、好ましくは、実質的に同一の材料を用いて構成することが、接合部分の信頼性、圧電/電歪デバイス20Dの強度の向上、製造の煩雑さの低減を図る上で有利である。

(第1の実施の形態に係る圧電/電歪素子の製造方法)

次に、図12～図24を用いて第1の実施の形態に係る圧電/電歪素子10の製造方法について説明する。なお、この製造方法については、各材料層に新たな符号と、図1～図4に示す完成品である圧電/電歪素子10の符号とを、対比、関連づけを行いながら併用して説明する。

(1) まず、図12に示すような、例えばジルコニア、アルミナ、マグネシアなどの酸化物でなる所定の大きさのセラミックス基板41を用意する。この基板セラミックス41は、スクリーン印刷の台としての機能と焼成用基板としての機能を有する。因みに、このセラミックス基板41の寸法は、例えば40mm×50mm×0.3mm程度である。

(2) このセラミックス基板41の上に、乳剤膜厚10 μ mの360メッシュのメタルスクリーンを用いて、カーボン粉末あるいはテオブロミン粉末分散ペーストを圧電/電歪素子10よりも長い幅寸法を有する複数列の領域に印刷し、乾燥させて、図12に示すような複数列の消失皮膜42を形成する。この消失皮膜4

2は、一列についてx方向に複数の素子形成領域を含んでいる。図13は、図12のB-B断面図である。この消失皮膜42は、後工程での焼成により消失して圧電／電歪素子10をセラミックス基板41から剥離し易くする機能を果たす。なお、消失皮膜42の印刷方向は、図12に矢印xで示す方向である。

(3) 次に、図14のハッチング部に示すようなスクリーン（印刷用版）43Aを用いて、図中に示す矢印y方向に白金（Pt）ペーストを印刷して乾燥させる。スクリーン43Aは、360メッシュ、乳剤膜厚5 μ mに設定されている。この工程では、第1の実施の形態に係る圧電／電歪素子10の外部電極層14、15の上面部14B、15Bに相当する部分の印刷を行う。なお、図14のハッチング部に示すようなスクリーン43Aを用いることで、x方向に沿った複数の素子形成領域に亘って一括して印刷することが可能になる。なお、図15は、このスクリーン43Aを用いて、消失皮膜42上の1つの素子形成領域内にPtペースト膜44、45を離間するように印刷した状態を示している。これらPtペースト膜44、45とこれらの間の領域とを含めた領域の面積は、圧電／電歪素子10の焼成前形成体の広い方の底面と同等の面積に設定する。また、図15に示すように、スクリーン43Aは、メタルスクリーン46に乳剤層47を所定パターンで付着させて、乳剤層47の存在しないパターン部分で白金ペーストを消失皮膜42上に転写するようになっている。

(4) 次いで、図16に示すように、スクリーン43Bを用いて圧電体ペーストを印刷、乾燥させて第1層目の圧電／電歪層11Aの焼成前形成体を形成する。なお、スクリーン43Bは、360メッシュのメタルスクリーン46に膜厚25 μ mの乳剤層47をパターン形成したものをを用いている。この乳剤層47の開孔パターンは、上記したPtペースト膜44、45およびこれらの間の領域とを含む領域より僅かに狭い面積となるように設定されている。詳しくは、図16に示すように、スクリーン43Bで印刷された圧電／電歪層11Aの焼成前形成体は、x方向の両側の縁部がPtペースト膜44、45のx方向の外側縁部からそれぞれx1の距離だけ内側に位置するように設定されている。なお、圧電／電歪層11Aの焼成前形成体のy方向の両側の縁部は、Ptペースト膜44、45のy方向の両側の縁部と重なるように設定されている。

(5) 次に、図 17 に示すように、スクリーン 43 C を用いて焼成後に内部電極層 12 A と外部電極層 15 の斜面部 15 A を兼ねる Pt 膜となる Pt ベースト膜 48 を印刷し、その後、乾燥させる。この Pt ベースト膜 48 は、圧電／電歪層 11 A の焼成前成形体を介して、上記工程で形成された Pt ベースト膜 44 に対して x 方向に所定寸法 L だけ重なりあうように設定されている。このように Pt ベースト膜 44、48 同士が重なり合った部分が実効的に電圧印加電極として機能する。

(6) その後、図 18 に示すように、スクリーン 43 D を用いて圧電体ペーストを印刷、乾燥して圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体を形成する。この圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体の x 方向の一方の端縁は、Pt ベースト膜 48 の Pt ベースト膜 45 に接続される斜面部分の延長上に位置するように設定されている。この圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体の x 方向の他方の端縁は、圧電／電歪層 11 A の焼成前成形体の端縁より僅かに内側に位置するように設定され、圧電／電歪層 11 A の焼成前成形体の斜面部分の延長上に位置するように設定されている。

(7) 次に、図 19 に示すように、スクリーン 43 E を用いて、焼成後に内部電極層 12 B と外部電極層 14 の斜面部 14 A を兼ねる Pt ベースト膜 49 を印刷、乾燥させる。この Pt ベースト膜 49 は、圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体を介して Pt ベースト膜 48 と対向する。そして、Pt ベースト膜 48、49 同士は、x 方向に寸法 L だけ重なり合うように設定されている。

(8) さらに、図 20 に示すように、スクリーン 43 F を用いて、下地の圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体より幅 (x 方向の長さ) の狭い圧電体ペーストを印刷、乾燥して圧電／電歪層 11 C の焼成前成形体を形成する。この圧電／電歪層 11 C の焼成前成形体は、Pt ベースト膜 49 の端部から側方で露出する圧電／電歪層 11 B の焼成前成形体の端縁より僅かな寸法だけ内側位置と、Pt ベースト膜 49 の斜面部より僅かな寸法だけ内側位置とに亘って形成される。

(9) その後、図 21 に示すように、スクリーン 43 G を用いて、焼成後の内部電極層 12 C と外部電極層 15 の斜面部 15 A を兼ねる Pt ベースト膜 50 を印刷して乾燥させる。

(10) 次に、図22に示すように、スクリーン43Hを用いて、圧電体ペーストを印刷、乾燥して圧電／電歪層11Dの焼成前成形体を形成する。この圧電／電歪層11Dの焼成前成形体は、下地の圧電／電歪層11Cの焼成前成形体より幅が狭くなるように設定されている。

(11) その後、図23に示すように、スクリーン43Iを用いて、焼成後に外部電極層14の下面部14Cと斜面部14Aとを兼ねるPtペースト膜51を印刷して乾燥させる。なお、この工程で用いるスクリーン43Iは、360メッシュのメタルスクリーン46に膜厚5 μ mの乳剤層47でパターン形成したものである。

(12) 最後に、各材料層の有機分や消失皮膜42が残らない程度で速度で昇温させ、最高温度1100℃～1300℃で焼成を行う。この結果、図24に示すように、消失皮膜42が消失して圧電／電歪素子10がセラミックス基板41から容易に離脱させることができる。

このような圧電／電歪素子10の製造方法では、圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dが面積が漸次小さくなるように、これら圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dを印刷法により積み重ねることができるため、圧電／電歪素子10の製造が容易になる。また、圧電／電歪層11A、11B、11C、11Dと各電極層（この実施の形態ではPt膜）を共に印刷法により形成できるため、ハンドリングして搬送するなどの工程がなく、ハンドリングや搬送に伴う変形などの悪影響を受けず、寸法精度および位置精度の高い圧電／電歪素子10を製造することができる。

また、圧電／電歪層と電極層とを繰り返して印刷することにより、積層体の両側（x方向の両側）外部電極となる部分を連続するように形成することができる。このため、別途外部電極層を形成する工程が不要となり、工数を少なくすることができる。

さらに、圧電／電歪素子10の製造に先駆けて、セラミックス基板41の上に焼成により消失する消失皮膜42を形成しておくことにより、焼成後に圧電／電歪素子10を容易に取り外すことができる。また、消失皮膜42は、焼成工程で昇華、燃焼により消失するため、圧電／電歪素子10にパーティクルなどが

付着するのを抑制することができる。

なお、この圧電／電歪素子の製造方法においては、スクリーン印刷可能な各種の圧電体材料や導電ペーストを適宜選択することができる。

また、このような圧電／電歪素子の製造方法では、外部電極層を印刷により位置決め精度よく形成できるため、圧電／電歪素子を例えば可動板などに載置、固定する際に、圧電／電歪素子を位置精度よく配置させることができる。

[第2の実施の形態]

(圧電／電歪素子)

図25および図26は、第2の実施形態に係る圧電／電歪素子を示している。

なお、図25は圧電／電歪素子60の側面図、図26は圧電／電歪素子60の平面図である。図に示すように、圧電／電歪素子60は、逆圧電効果により駆動される4層の圧電／電歪層61、62、63、64と、圧電／電歪層61の外側面に互いに離間して形成された上面電極層65、66と、圧電／電歪層61、62、63、64の下面に形成された内部電極層67、68、69、70と、上面電極層65に連設されて、内部電極層68、70に接続された斜面部71と、上面電極層66に連設されて、内部電極層67、69に接続された斜面部72と、斜面部71、72および内部電極層70を一体に覆う絶縁体層73と、を備えて構成されている。

そして、この圧電／電歪素子60は、上下一対の対向する底面がともに長方形状をなす概ね台形状の積層体構造を有する。なお、絶縁体層73としては、圧電／電歪層61などと同一の材料でもよいし、他の材料を用いてもよい。

そして、図25に示すように、底面f2の両側縁は、底面f1の両側縁から等距離だけ内側に位置し、長さ方向には底面f1と重なるように設定されている。このため、圧電／電歪素子60においては、図25に示すように、x方向の両側に斜面f3、f4が形成されている。これら一対の斜面f3、f4は、面積の広い方の底面f1から面積の狭い方の底面f2に向けて互いに近づく方向へ向けて傾斜している。

また、上面電極層65は、上面電極層66に比較して広く設定されている。そ

して、上面電極層 65 と内部電極層 68、70 が斜面部 71 から斜面 f 4 側へ向けて延伸するように形成されている。また、上面電極層 66 に連設されている斜面部 72 からは、内部電極層 67、69 が斜面 f 3 側に向けて延伸するように形成されている。

この圧電／電歪素子 60 では、上面電極層 65 と内部電極層 67、68、69、70 の互いに圧電／電歪層を介して重なり合う領域が、実効的に電圧印加領域または電圧検出領域となる。

この第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 60 では、底面 f 2 および斜面 f 3、f 4 が絶縁体層 73 で覆われている。このため、底面 f 1 の上面電極層 65、66 に電圧印加回路または電圧検出回路に接続される配線が接続されるようになっている。

この第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪素子 60 において、圧電／電歪層 61、62、63、64 は、例えばチタン酸ジルコン亜鉛（PZT）などで形成されている。また、内部電極層 67、68、69、70 および上面電極層 65、66 ならびに斜面部 71、72 は、例えば白金（Pt）などで形成されている。

この圧電／電歪素子 60 では、底面 f 1 から底面 f 2 へ向けて積層される圧電／電歪層 61、62、63、64 が幅（x 方向の長さ）が漸次短くなるように設定されている。この結果、圧電／電歪素子 60 全体では、上記したように両側部に斜面 f 3、f 4 が形成されている。

なお、なお、この実施の形態では、圧電／電歪層 61、62、63、64 を 4 層とし、これら圧電／電歪層を挟む電極層を 5 層としたが、各層の層数や、斜面部 71、72 のそれぞれに接続された内部電極層の数は、互いに等しくても、等しくなくてもよい。これら、電極層の数は、駆動電圧との関係や、変位度合などとの関係を考慮して設定するものである。このように、圧電／電歪層の総数を多くすれば、この圧電／電歪素子 60 が固定される可動板を駆動する駆動力が増大し、もって大きな変位を図ることができるとともに、圧電／電歪素子 60 の剛性が増すことで、高共振周波数化が図られ、変位動作の高速化が容易に達成できる。

（圧電／電歪デバイス）

図 2 7 は、第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイス 7 0 の側面図である。この圧電／電歪デバイス 7 0 は、上記した構成の圧電／電歪素子 6 0 の面積が狭い方の底面 f 2 が、可動板（振動板）7 1 の上に接着剤 7 2 を用いて接着されたユニモルフ型に構成されている。この第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイス 7 0 では、可動板 7 1 とが略同じ幅寸法に設定されている。また、可動板 7 1 の長さは、圧電／電歪素子 6 0 の長さより長くなるように設定されている。なお、可動板 7 1 は、可撓性を有し、屈曲変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものであればよく、応答性、操作性などを考慮して適宜材料選択することができる。

このような圧電／電歪デバイス 7 0 において、接着剤 7 2 は、可動板 7 1 の上面と圧電／電歪素子 6 0 の底面（下面）f 2 および斜面 f 3、f 4 との間に介在されて圧電／電歪素子 6 0 を可動板 7 1 の上面に接着、固定している。特に、圧電／電歪素子 6 0 の斜面 f 3、f 4 と可動板 7 1 の上面とで形成される V 溝状の空隙には、接着剤 7 2 が充填されている。この結果、圧電／電歪素子 6 0 と接着剤 7 2 とがなす形状は、略台形状もしくは略直方体形状となっている。

なお、可動板 7 1 は、圧電／電歪デバイス 7 0 の駆動に基づいて作動する部分であり、この圧電／電歪デバイス 7 0 の使用目的に応じて種々の部材が取り付けられる。例えば、この圧電／電歪デバイス 7 0 を変位素子として使用する場合は、例えば、光シャッタの遮蔽板などが取り付けられる。また、この圧電／電歪デバイス 2 0 をハードディスクドライブの磁気ヘッドの位置決めやリング抑制機構にしようとするのであれば、磁気ヘッド、磁気ヘッドを有するスライダ、スライダを有するサスペンションなどの位置決めを必要とする部材が取り付けられる。

また、可動板 7 1 は、圧電／電歪素子 6 0 の変位により駆動される部分である。可動板 7 1 は、可撓性を有する部材であって、表面に配設された圧電／電歪素子 6 0 の伸縮変位を屈曲変位として増幅する機能を有する。したがって、可動板 7 1 は可撓性を有し、且つ屈曲変形によって破損しない程度の機械的強度を有するものが選択される。

この可動板 7 1 を構成する材料としては、ジルコニアをはじめとするセラミッ

クスが好ましい。中でも安定化ジルコニアを主成分とする材料と部分安定化ジルコニアを主成分とする材料は、薄肉であっても機械的強度が大きいこと、靱性が高いこと、圧電／電歪層や電極材料との反応性が小さいという観点ことから可動板 71 の材料として好ましい。

また、可動板 71 を金属材料で構成する場合には、可撓性を有し、屈曲変形が可能な金属材料であればよいが、鉄系材料としては、各種ステンレス鋼、各種バネ鋼材で構成することが望ましい。また、非鉄系材料としては、ベリリウム銅、リン青銅、ニッケル、ニッケル鉄合金などで構成することが望ましい。

このような構成の圧電／電歪デバイス 70 では、圧電／電歪素子 60 の斜面 f 3、f 4 と可動板 71 の上面とで形成される V 溝状の空隙が圧電／電歪素子 60 の両側に形成され、この空隙が液状またはペースト状の接着剤 72 の液溜めとして機能する。また、この空隙に保持された接着剤 72 は、表面張力により塊状を保持しながら固化する。したがって、接着剤 72 が圧電／電歪素子 60 の上側や可動板 71 の下側へのはみ出しや回り込みを抑制することができる。また、可動板 71 の上に塗布された接着剤 72 の量を所定量に設定することにより、圧電／電歪素子 60 の斜面 f 3、f 4 と可動板 71 の上面とで形成される V 溝状の空隙内に過不足なく充填される。

そして、圧電／電歪素子 60 の下面 f 2 の両側の角部（稜線部）が鈍角となっているため、この角部は、直角や鋭角をなす角部の強度に比較すると大きな強度を有する。このように角部の強度を高めた構造としたことにより、この圧電／電歪デバイス 70 では、圧電／電歪素子 60 の底面（下面）f 2 を可動板 71 の上に固定したときに、圧電／電歪素子 60 の振動や外力により角部が損傷や破壊されるのを防止する作用がある。

さらに、V 溝状の空隙に接着剤 72 が充填されているため、圧電／電歪素子 60 と可動板 71 との熱膨張差に起因する応力が最大となる圧電／電歪素子端部付近において、接着剤が低弾性率あることに起因して、接着力を保持しつつ応力を緩和して、圧電／電歪素子 60 の破壊と、圧電／電歪素子 60 の可動板 71 からの剥離とを防止する作用がある。

また、面積の広い方の底面 f 1 側に上面電極層 65、66 がともに配置されて

いるため（同一平面上に配置されているため）、これら上面電極層 65、66 に配線を容易に接続することができる。

このような構成の圧電／電歪デバイス 70 を能動デバイスとして用いる場合は、各種トランスデューサ、各種アクチュエータ、周波数領域機能部品（フィルタ）、トランス、通信用や動力用の振動子や共振子、発振子、ディスクリミネータなどとして用いることができる。なお、配線としては、フレキシブルプリント回路体（FPC）、フレキシブルフラットケーブル（FFC）、ボンディングワイヤなどをを用いることが好ましい。

また、この圧電／電歪デバイス 70 を受動デバイスとして用いる場合は、超音波センサや加速度センサ、角速度センサや衝撃センサ、質量センサなどとして用いることができる。

このような第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイス 70 では、接着剤 72 が、圧電／電歪素子 60 の底面 f2 と斜面 f3、f4 とを覆う表面荒さの大きい絶縁体層 73 に直接接着するため、金属電極との接着力に比較して接着力を高めることが可能である。

また、この圧電／電歪デバイス 70 では、圧電／電歪素子 60 の上面電極層 65、66 を印刷法で形成すれば、最も面積の広い底面 f1 の輪郭をこれら上面電極層 65、66 をパターン精度よく形成でき、これら上面電極層 65、66 を基準として位置決めすることができる。このため、可動板 71 に対して圧電／電歪素子 60 を位置精度よく配置、固定することが可能となる。

なお、この第 2 の実施の形態に係る圧電／電歪デバイス 70 では、ユニモルフ型に本発明を適用して説明したが、バイモルフ型のデバイスとすることも勿論可能である。

（圧電／電歪デバイスの製造方法）

以下、上記した第 1 および第 2 の実施の形態の双方に適用することのできる圧電／電歪デバイスの製造方法について図 28～図 33 を用いて説明する。

（A）まず、図 28 に示すような可動板 80 を用意し、スクリーン印刷法により、図 29 に示すように可動板 80 の所定位置に、接着剤 81 を塗布する。

(B) 次に、図 3 0 および図 3 1 に示すような可動板位置決め治具 8 2 に、可動板 8 0 を載置する。この可動板位置決め治具 8 2 は、可動板位置決め基板 8 3 の両側部に一对のガイドピン 8 4、8 4 が立設されている。また、可動板位置決め基板 8 3 の中央部には、可動板 8 0 の 2 辺に係当して可動板 8 0 の位置決めを行う 3 つの位置決めピン 3 5 が上方へ向けて突設されている。

(C) 一方、圧電／電歪素子 1 0 を、図 3 2 に示すような素子位置決め板 8 6 にセットする。この素子位置決め板 8 6 には、圧電／電歪素子 1 0 を真空吸引するための複数の吸引口 8 7 が設けられている。このとき、圧電／電歪素子 1 0 は、面積の広い方の底面 f 1 が吸引口 8 7 で吸引されるようにセットする。また、この素子位置決め板 8 6 には、可動板位置決め治具 8 2 とを組み合わせたときに、ガイドピン 8 4 が嵌合するガイド穴 8 8、8 8 が開設されている。さらに、素子位置決め板 8 6 には、可動板位置決め治具 8 2 に突設された位置決めピン 3 5 を逃がすための開口部 8 9 が形成されている。

(D) そして、図 3 3 に示すように、可動板位置決め治具 8 2 のガイドピン 8 4、8 4 を素子位置決め板 8 6 のガイド穴 8 8、8 8 に挿入して、素子位置決め板 8 6 を可動板位置決め治具 8 2 に近接させて、可動板位置決め治具 8 2 上に配置されている可動板 8 0 に圧電／電歪素子 1 0 を当接させる。これにより、圧電／電歪素子 1 0 は、可動板 8 0 の上に塗布された接着剤 8 1 により接着、固定される。

(E) その後、素子位置決め板 8 6 の吸引口 8 7 での吸引を停止させた後、素子位置決め板 8 6 を上昇させることにより、圧電／電歪素子 1 0 の位置決めが終了する。

この後、接着剤の硬化中に圧電／電歪素子 1 0 が移動しないように重しを載せ、例えば熱硬化型一液エポキシ接着剤であれば、硬化温度に加熱されたオーブンの中へ投入し、UV 硬化型接着剤であれば、UV（紫外光）を照射して接着剤を硬化させる。

なお、上記した圧電／電歪デバイスの製造方法では、可動板 8 0 の一方の表面に圧電／電歪素子 1 0 を接着する場合であるが、可動板 8 0 の両面に圧電／電歪素子 1 0 を接着する場合は、上記方法により可動板 8 0 の一方の表面に圧電／電歪素子 1 0 を接着した後、可動板 8 0 を裏返した状態で配置できる他の可動板位

置決め治具を用意して、裏面側に再度圧電／電歪素子 10 の接着を行えばよい。

このような圧電／電歪デバイスの製造方法において、可動板 80 に塗布する接着剤 81 の量、厚みなどを適宜設定しておくことで、図 5 に示したように接着剤に過不足のない良好な接着を行うことができる。接着剤の物性（粘度、チクソトロピー性）にもよるが、接着剤の塗布位置及び塗布量を精度良く制御できることから、接着剤の塗布方法としては、スクリーン印刷法が好適に用いられる。

[その他の実施の形態]

上記の本発明の第 1 および第 2 の実施の形態の開示の一部をなす論述および図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例および運用技術が明らかとなろう。

例えば、第 1 および第 2 の実施の形態では、内部電極層が 3 層および 4 層の場合について説明したが、1 層または 2 層、さらには 5 層以上とすることも可能である。

上記した圧電／電歪素子 10、60 は、印刷法によって製造される場合に、製造上の利点や寸法精度上ならびに位置精度上の利点があるが、少なくとも底面の両側部の角部が鈍角であれば印刷法にて製造されないものでも強度的な利点を得ることができる。

また、上記した第 1 および第 2 の実施の形態では、接着剤を圧電／電歪素子と可動板とで形成する V 溝状の空隙に充填する構成としたが、面積の狭い方の底面のみを接着剤で接着する場合も本発明が適用されることは言うまでもない。

特許請求の範囲

請求項 1. 互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第 1 および第 2 面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第 1 および第 2 グループに分類され、第 1 グループの各内部電極は、第 2 グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、

前記積層体の第 1 面に形成され、前記第 1 グループの内部電極に接続された第 1 外部電極と、

前記積層体の第 2 面に形成され、前記第 2 グループの内部電極に接続された第 2 外部電極と、

からなる、圧電／電歪素子。

請求項 2. 請求項 1 記載の圧電／電歪素子であって、

前記圧電／電歪層は、積層方向の一方に向けて漸次狭くなるように設定されている、圧電／電歪素子。

請求項 3. 請求項 1 記載の圧電／電歪素子であって、

前記両側面部に形成された外部電極層は、前記積層体の幅広面に沿って延設されている、圧電／電歪素子。

請求項 4. 請求項 3 記載の圧電／電歪素子であって、

前記第 1 外部電極層における前記幅広面に延設された部分の幅は、前記第 2 外部電極層における前記幅広面側に延設された部分の幅より広く設定されている、圧電／電歪素子。

請求項 5. 請求項 1 記載の圧電／電歪素子であって、

前記積層方向のいずれか一方の表面が圧電／電歪層である圧電／電歪素子。

請求項 6. 請求項 1 記載の圧電／電歪素子であって、

前記第 1 および第 2 外部電極層のそれぞれに接続されている前記内部電極層の層数が、第 1 と第 2 外部電極層とで同じである、圧電／電歪素子。

請求項 7. 請求項 1 記載の圧電／電歪素子であって、

前記第 1 および第 2 外部電極層のそれぞれに接続されている前記内部電極層の層数が、第 1 と第 2 外部電極層とで互いに異なる、圧電／電歪素子。

請求項 8. 互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第 1 および第 2 面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第 1 および第 2 グループに分類され、第 1 グループの各内部電極は、第 2 グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第 1 面に形成され、前記第 1 グループの内部電極に接続された第 1 外部電極と、前記積層体の第 2 面に形成され、前記第 2 グループの内部電極に接続された第 2 外部電極と、からなる圧電／電歪素子が、

可動板の表面に対して前記積層体の幅狭面側で接着されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 9. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記圧電／電歪素子の幅狭面と前記可動板とが接着剤で接着され、前記第 1 面と前記第 2 面と前記可動板とで形成される空隙に前記接着剤が充填されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 10. 請求項 9 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記圧電／電歪素子と前記接着剤とでなる構造体が略台形状もしくは略直方体状であることを特徴とする、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 1. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記第 1 面および第 2 面に形成された第 1、第 2 外部電極層は、前記積層体の幅広面に共に延設されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 2. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記可動板の一方の表面のみに前記圧電／電歪素子が接着されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 3. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記可動板の両方の表面に、前記圧電／電歪素子が該可動板を挟んで接着されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 4. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記可動板は絶縁体でなる、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 5. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記可動板は導体でなる、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 6. 請求項 1 5 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記可動板は、前記圧電／電歪素子の一方の外部電極層と導通している、圧電／電歪デバイス。

請求項 1 7. 請求項 1 6 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記接着剤が導電性を有し、前記可動板と、前記圧電／電歪素子の一方の外部電極層とが該接着剤を介して導通している、圧電／電歪デバイス。

請求項 18. 互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる、一対の圧電／電歪素子同士が、互いに前記積層体の幅狭面側で接着されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 19. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記第1および第2外部電極層は、電圧印加回路に接続されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 20. 請求項 8 記載の圧電／電歪デバイスであって、

前記第1および第2外部電極層は、電圧検出回路に接続されている、圧電／電歪デバイス。

請求項 21. 所定の幅を有するセラミック基板を準備する工程と、

互いに重なるように配置された第1および第2部分からなる積層体を前記セラミック基板上に形成する工程であって、前記第1部分は、

前記セラミック基板上に所定間隔離間して配置される第1電極層と第2電極層とを形成し、

圧電／電歪ペーストを用いて、前記第1および第2電極層上に、この第1および第2電極層の前記セラミック基板の幅方向の外側に位置する縁部以外の部分を覆うように圧電／電歪層を形成し、

圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第1電極にのみ電氣的に接続されるように第1電極層を形成する工程からな

り、

前記第2部分は、

圧電／電歪ペーストを用いて、前記第1電極層の最上層上に、この工程で形成されるものの直下に位置する前記圧電／電歪層より幅が狭い圧電／電歪層を形成し、

圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第2電極にのみ電気的に接続されるように第2電極層を形成し、

圧電／電歪ペーストを用いて、前記第2電極層の最上層上に、この工程で形成されるものの直下に位置する前記圧電／電歪層より幅が狭い圧電／電歪層を形成し、

圧電／電歪層の上面および側面上に、この工程で形成されるものの直下に位置する第1電極にのみ電気的に接続されるように第1電極層を形成する、一連の工程を所定回数実施することにより形成され、

前記セラミック基板と、前記積層体とを所定温度で焼成する工程と、

前記セラミック基板から前記積層体を取り外す工程と、

からなる、圧電／電歪素子の製造方法。

請求項22． 請求項21記載の圧電／電歪素子の製造方法であって、

前記セラミック基板上に所定間隔離開して配置される第1電極層と第2電極層の対向方向の幅寸法を、前記第1電極層の幅寸法より前記第2電極層の幅寸法が長く設定する、圧電／電歪素子の製造方法。

請求項23． 請求項21に記載された圧電／電歪素子の製造方法であって、

前記セラミック基板の上に、焼成によって消失する皮膜を形成しておく、圧電／電歪素子の製造方法。

請求項24． 互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の

隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる、圧電／電歪素子の幅狭面側を、

可動板の表面に接着剤を介して接続する、圧電／電歪デバイスの製造方法。

請求項25. 請求項24記載の圧電／電歪デバイスの製造方法であって、

前記可動板の両側の表面に前記圧電／電歪素子を接着剤を介して接着する、圧電／電歪デバイスの製造方法。

請求項26. 互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、前記積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、前記積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる、圧電／電歪素子の幅狭面側同士を、接着剤を介して接合させる、圧電／電歪デバイスの製造方法。

開示内容の要約

この圧電／電歪素子は、互いに略平行に位置する幅広面と幅狭面と、この幅広面と幅狭面との間で互いに相対し、幅広面と幅狭面の一つに対して所定角度で傾斜する第1および第2面と、を有するとともに、複数の圧電／電歪層とこの圧電／電歪層の隣接する二つの間にそれぞれが配置された複数の内部電極とからなり、この内部電極は第1および第2グループに分類され、第1グループの各内部電極は、第2グループの一つの内部電極の上に一つの圧電／電歪層を介して配置された、略台形の積層体と、この積層体の第1面に形成され、前記第1グループの内部電極に接続された第1外部電極と、この積層体の第2面に形成され、前記第2グループの内部電極に接続された第2外部電極と、からなる。このように、一方の底面から他方の底面へ向けて漸次狭くなるような概ね台形状であるため、他方の底面と、両側の斜面とのなす角度が鈍角となり、この他方の底面と両側の斜面とでなす稜線部分（角）の強度が大きくなる。また、圧電／電歪素子の他方の底面を可動板（振動板）の上に接着剤で固定する場合に、可動板と圧電／電歪素子の両側の斜面とで形成される凹状（V溝状）の空隙に接着剤を充填することができる。また、この凹状の空隙に接着剤を存在させることができるため、圧電／電歪素子と可動板との熱膨張差に起因する応力が働いても、圧電／電歪素子が可動板から剥離することを防止する作用がある。